

## 축하중 및 횡하중을 받는 강널말뚝 교대에 관한 연구

### A Study on Axially and Laterally Loaded Steel Sheet Pile Bridge Abutment

정하익<sup>1)</sup>, Ha-Ik Chung, 오인규<sup>2)</sup>, In-Kyu Oh, 유준<sup>2)</sup>, Jun Yoo, 은성운<sup>3)</sup>, Sung-Woon Eun, 손인균<sup>4)</sup>, In-Goon Son, 이성열<sup>5)</sup>, Sung-Yeol Lee, 김형구<sup>6)</sup>, Hyung-Koo Kim, 이영호<sup>7)</sup>, Young-Ho Lee

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Dept. of Civil Eng., KICT

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng., KICT

<sup>3)</sup> 아이 엔 아이 스틸(주) 부장, General Manager, Marketing Development Team, INISteel

<sup>4)</sup> 아이 엔 아이 스틸(주) 과장, Manager, Marketing Development Team, INISteel

<sup>5)</sup> (주)경한 상무, Managing Director, Kyunghan Co., Ltd

<sup>6)</sup> (주)경한 과장, Manager, Kyunghan Co., Ltd

<sup>7)</sup> (주)씨티기술단 사장, President, CTtech

**SYNOPSIS** : Steel piling for abutments of new and replacement bridges can be aesthetically attractive and cost effective. Use of embedded steel sheet piling brings savings in dead load, provides a compliant retaining wall, and permits speedier construction. In addition, for replacement bridge projects, traffic interruption can be minimized. It is hoped that this study will encourage designers and constructors to consider a steel substructure option more frequently during the conceptual and preliminary design phases of projects and thereby to take advantage of the potential to construction more efficiently.

**Key words** : axial load, steel sheet pile, bridge abutment, retaining wall

## 1. 서 론

강널말뚝은 널말뚝을 맞물려 연속타입하여 영구적, 일시적 벽체를 형성하여 횡방향의 토압을 지지하는 흙막이벽과 차수를 목적으로하는 물막이벽 등에 시공성과 차수성이 우수하기 때문에 매우 광범위하게 사용되어왔다. 통상 강널말뚝은 횡방향의 외력에만 저항하는 구조물로 주로 인식되어 설계시 축하중이 작용하면 H-pile 등을 보강하여 축하중은 H-pile에서 지지하는 것으로 가상하여 설계한다. 그러나, 실제로 강널말뚝은 소정의 지지단면을 가지고 있어 기존의 지지말뚝에 해당하는 선단지지력과 마찰지지력을 훌륭하게 수행할 수 있다.

본 연구에서는 횡방향 토압과 축하중이 동시에 작용하는 교량교대에 강널말뚝공법을 적용하여 우수한 강널말뚝의 횡방향 지지능력에 축하중까지 지지할 수 있는 구조물로 이용하고자 이에 대한 설계방법을 제안하고자 한다. 토압은 앵커지지 자유단지지법으로 해석하였고, 축하중은 축+모멘트를 받는 부재로 해석하였다. 각 결과는 도로교설계기준과 구조물기초설계기준의 제 기준에 부합하는 응력검토, 지지력검토, 변위검토를 수행하였다. 이와 같이 본 연구의 목적은 강널말뚝의 토압지지능력에 더불어 축하중지지능력에 대한 고찰을 하고자 한다.

## 2. 강널말뚝 교대의 해석개요

### 2.1 설계개요

축하중을 지지하는 강널말뚝 교대의 설계단면은 다음의 그림과 같다. 경간 21m의 단경간 교량의 교대부로 강널말뚝을 사용하였다. 강널말뚝의 길이는 8.2m로 성토부 4.5m, 근입부 3.7m이다. 상판을 H형강 프레임으로 해석하여 강널말뚝 교대에 작용하는 반력만 산출하여 말뚝캡에 작용시켰다. 강널말뚝의 해석은 앵커지지 자유단지지법으로 해석하여 최대모멘트를 산정하고 상부의 전달하중과 조합하여 응력검토를 하였다. 지지력은 구조물설계기준의 Meyerhof(1976)의 경험식을 이용하였다.

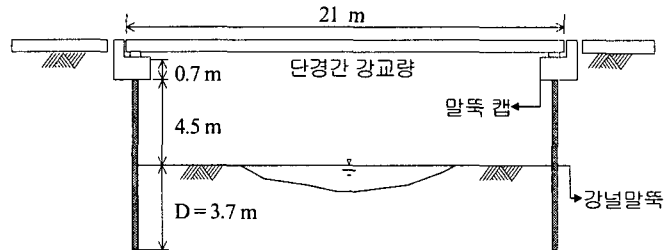
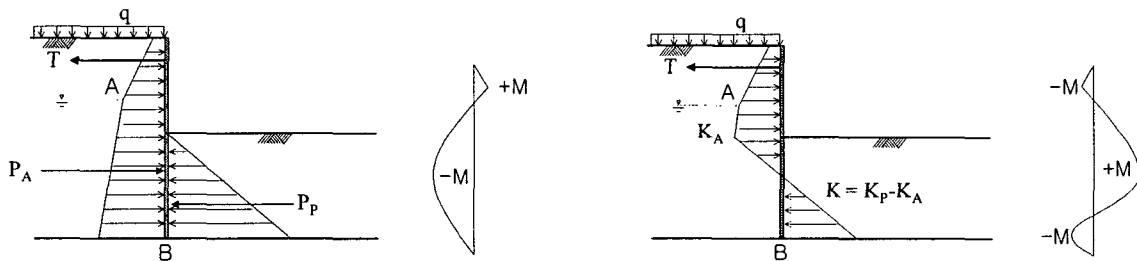


그림 1. 설계 개요

## 2.2 강널말뚝의 해석방법

강널말뚝의 설계방법은 크게 자유단지지법과 고정단지지법으로 나눌 수 있다. 자유단지지법은 그림 2의 a)와 같이 상부 A점에 관해서 주동토압과 수동토압이 극한상태 평형을 이루며 근입부 하단의 B점에서는 휨모멘트가 발생하지 않는다는 가정에 의거한 것이다. 고정단지지법은 그림 2의 b)와 같이 근입부 부분의 토압은 수동토압에서 주동토압을 뺀 것으로 가정하고 근입부 하단의 B점에서 휨모멘트가 발생한다는 가정에 의거한 것이다. 자유단지지법은 계산이 간편하고 안전측이라는 이유 때문에 고정단지지법보다 널리 사용되고 있다.



a) 자유단지지법

b) 고정단지지법

그림 2. 강널말뚝에 작용하는 토압분포도 및 휨모멘트도

## 3. 강널말뚝 교대의 구조계산

### 3.1 단경간 강교량 반력

단경간 강교량은 아래와 같은 조건에서 반력을 산정하였다. 경간 21m, 폭원 7.9m 일때 사하중, 활하중은 각각 11.387, 15.922 tonf 이다.

표 1. 단경간 강교량 반력집계(단경간 강교량 설계표준화, 포항산업과학연구원)

사하중	활하중	계
11.387	15.922	27.309

### 3.2 교좌부 설계

교좌부는 다음 그림 3과 같은 단면으로 가정하여 설계를 수행하였다. 작용하중은 단경간 강교량해석에서 얻어진 반력을 교좌 받침부에 작용시켰고, 교좌부 좌측의 하중을 Rankine 토압으로 작용시켰다. 해석결과 교좌부 하단에 작용하는 반력은 수평력 = 1.530 tonf(/m), 수직력 = 30.970 tonf(/m), 모멘트 = 0.740 tonf · m(/m)이다.

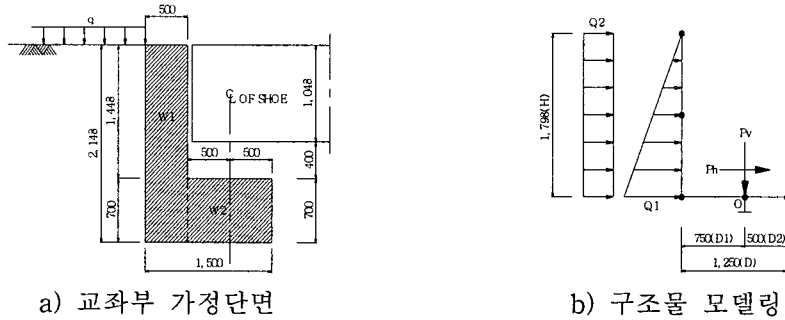


그림 3. 교좌부 단면가정 및 모델링 개요도

표 2. 교좌부 해석결과 반력집계

수평력(tonf)	수직력(tonf)	모멘트(tonf · m)
1.530	30.970	0.740

### 3.3 교대부 설계

교대부는 앵커지지 자유단지지법에 의해 강널말뚝 교대의 근입깊이를 산정하여 3.7m를 얻었다. 안전율은 근입깊이를 증가시키는 방법과 수동측 내부마찰각을 저감시키는 방법이 있으나 본 연구에서는 두 가지 모두를 적용하였다. 기존의 토류벽설계와 달리 본 연구의 강널말뚝에는 토압과 축하중이 동시에 작용하는 관계로 Sap2000의 P-Δ기능을 사용하여 축하중과 모멘트가 동시에 작용할 때 2차처짐 및 2차응력을 고려하였다. 지지력은 Meyerhof 경험식을 이용하였으며 마찰지지력 산정시 강널말뚝 교대의 근입부의 수동측만 고려하였다.

교대부의 모델링은 다음 그림 5의 a)와 같다. 강널말뚝 교대 상부에 상부전달하중 Ph, Pv, M을 각각 1.530 tonf, 30.970 tonf, 0.740 tonf · m를 작용시켰고 강널말뚝에는 Rankine 토압을 작용시켰다. 앵커의 강성계수와 수평지반반력계수는 각각 1,842 tonf/m<sup>2</sup>와 1,271 tonf/m<sup>2</sup>이다. 모델링 해석결과는 그림 5에 각각 전단력도, 모멘트도, 스프링반력으로 나타내었고 최대단면력 및 변위는 표 3에 나타낸 바와 같이 최대전단력, 최대모멘트, 변위는 각각 4.73 tonf, 5.23 tonf · m, 0.4cm 로 나타났다.

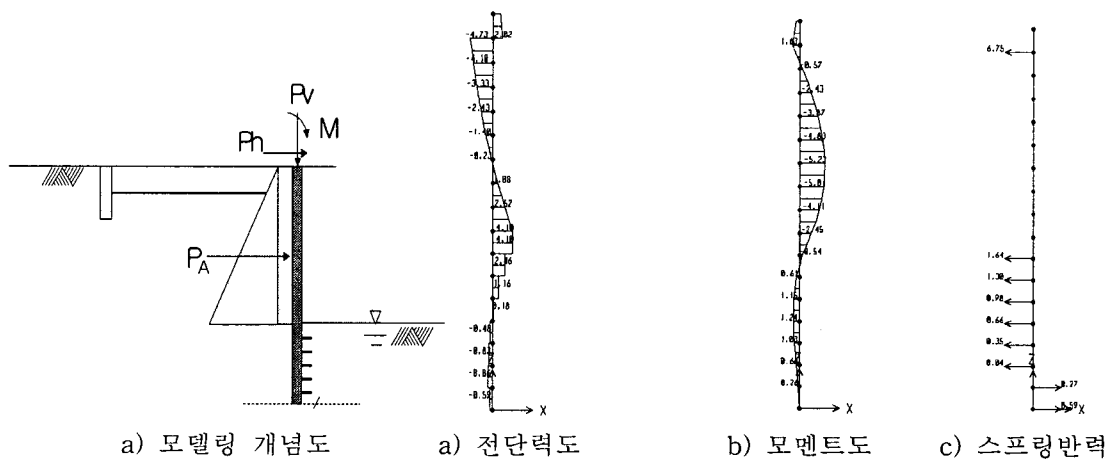


그림 5. 모델링 개념도 및 해석결과

표 3. 최대단면력 및 변위

전단력(tonf)	모멘트(tonf · m)	변위(cm)
4.73	5.23	0.4

응력검토는 강널말뚝 단면 KWSP-II, All Box-type을 사용하였다. 압축, 전단, 휨, 압축+휨응력을 검토한 결과는 다음 표 4와 같다. 작용하중은 축하중 30,907 kgf, 전단력 4,730 kgf, 모멘트 523,000 kgf · cm이다. 지지력은 Meyerhof 경험식을 사용하여 검토하였다. 작용하중은 교량교대 상부구조물 검토결과 수직반력인 30.970 tonf 이다. 검토결과 All Box Type의 강널말뚝이면 강널말뚝 교대에 적용가능한 것으로 나타났다. 결과는 아래의 표 5와 같다.

표 4. 응력검토

압축응력 ( $f_c/f_{ca}$ )	전단응력 ( $\tau/\tau_a$ )	휨응력 ( $f_b/f_{bca}$ )	압축+휨응력 ( $f_c/f_{ca} + f_b/f_{bca}(1-f_c/f_{Ez})$ )
0.064	0.041	0.149	0.215

표 5. 지지력 검토

선단지지력 $Q_p = mN'A_p$ tonf	마찰지지력 $nN_{ave}A_s$ tonf	허용지지력 ( $Q_p + Q_s$ )/3 tonf	지지력비 $Q/Q_A$
121.6	0.493	40.7	0.761

#### 4. 결론

이상에서와 같이 강널말뚝 교대에 대한 사용하여 변위량, 응력, 지지력을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 강널말뚝을 사용한 경간 21m 단경간교량 교대상단의 최종변위량은 0.368cm로 교량교대의 상부 허용 변위 1.5cm 이내에 들어 변위조건을 만족했다.
- 2) 또한 축과 모멘트를 동시에 받는 부재로 강널말뚝의 응력을 검토한 결과 허용치 이내로 만족하였으며 지지력을 검토한 결과 All-Box Type의 강널말뚝이 적용성이 있는 것으로 나타났다.
- 3) 교량의 경간, 폭 및 교대의 높이가 적정하다면 강널말뚝을 교량교대로 사용할 수 있는 것으로 평가되었다.

#### References

1. 건설교통부(2000), “도로교설계기준”, 건설교통부
2. 한국지반공학회(1997), “구조물 기초 설계기준”, (사)한국지반공학회
3. 한국지반공학회(2002), “굴착 및 흩막이 공법-지반공학 시리즈 3”, 구미서관
4. 포항산업과학연구원(2001), “단경간 강교량 설계표준화”
4. INISteel(2002), “강널말뚝”, INISteel
5. The Steel Construction Institute(1998), “Design Guide for Steel Sheet Pile Bridge Abutment”
6. G. J. W. King(1995), “Analysis of cantilever-sheet-pile walls in cohesionless soil”, J. of Geotech. Eng., Sep. 1995